

Method to determine rpm of direct current electric motor; involves low pass filtering of motor current signal and computing difference values between successive minimum and maximum of filtered signals

Patent Number: DE19834108

Publication date: 2000-02-24

Inventor(s): THIMM ANDREAS (DE)

Applicant(s): SICAN GMBH (DE)

Requested Patent: ☐ DE19834108

Application Number: DE19981034108 19980729

Priority Number(s): DE19981034108 19980729

IPC Classification: G01P3/46

EC Classification: G01P3/48, H02P7/62C

Equivalents:

Abstract

The method involves low pass filtering and differentiating the motor current signal. Difference values between successive minimum and maximum values of the differentiated, filtered motor current signals are computed and stored within a determined time interval. A ripple is determined from the difference values of the interval. Interval lengths are matched according to previously identified ripples.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑩ Off nl gungsschrift
DE 198 34 108 A 1

⑤1 Int. Cl.⁷:
G 01 P 3/46

②1 Aktenzeichen: 198 34 108.3
②2 Anmeldetag: 29. 7. 1998
④3 Offenlegungstag: 24. 2. 2000

DE 198 34 108 A 1

⑦1 Anmelder:
SICAN Gesellschaft für Silizium-Anwendungen und
CAD/CAT Niedersachsen mbH, 30419 Hannover, DE

⑦4 Vertreter:
Gerstein, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 38122
Braunschweig

⑦2 Erfinder:
Thimm, Andreas, 30165 Hannover, DE

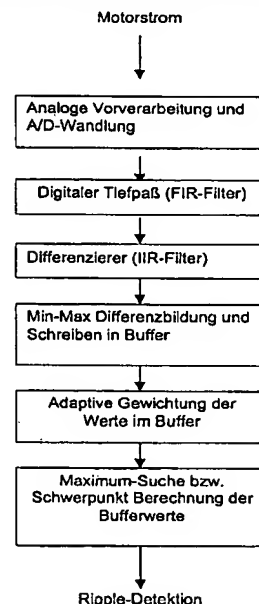
⑤6 Entgegenhaltungen:
DE 42 17 265 A1
DE 40 17 779 A1
DE 39 11 830 A1
EP 07 30 156 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Bestimmung der Anzahl von Motorumdrehungen bei Elektromotoren aus Stromrippeln

⑤7 Die Drehzahl eines permanenterregten Gleichstrommotors kann durch Auswertung des dem Gleichanteil des Motorstroms überlagerten Wechselanteils ausgewertet werden. Die Stromspitzen des Wechselanteils werden im Folgenden Strom-Ripple genannt. Die Strom-Ripple entstehen bei einer Rotation des Motors durch den Kommutierungsvorgang an den Ankerwicklungen. Die Anzahl an Motorumdrehungen kann zuverlässig detektiert werden, indem das Motorstromsignal tiefpaßgefiltert und differenziert wird. Anschließend erfolgt eine Differenzbildung der minimalen und maximalen Werte eines zeitlichen Intervalls. Aus diesen Differenzwerten wird das Maximum ermittelt. Die Intervalllänge wird in Abhängigkeit von den vorhergehenden, erkannten Ripplen angepaßt. Zur Drehzahlmessung bei Gleichstrommotoren.



DE 198 34 108 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Anzahl von Motorumdrehungen bei Elektromotoren aus Stromrippeln, wobei eine Drehzahlerkennung allein aus einer Messung des Motorstromes ohne zusätzliche Sensorik erfolgt.

Die Drehzahl eines permanenterregten Gleichstrommotors kann durch Auswertung des dem Gleichanteil des Motorstroms überlagerten Wechselanteils ausgewertet werden. Die Stromspitzen des Wechselanteils werden im folgenden Strom-Ripple genannt. Die Strom-Ripple entstehen bei einer Rotation des Motors durch den Kommutierungsvorgang an den Ankerwicklungen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es, ein Verfahren zur Ripple-Detektion bei permanenterregten Gleichstrommotoren zu schaffen, mit dem die Anzahl an Motorumdrehungen bzw. die Drehzahl, das heißt die Motorumdrehungen pro Zeit, einfach und zuverlässig bestimmt werden kann.

Die Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die Anzahl an Motorumdrehungen kann zuverlässig detektiert werden, indem das Motorstromsignal tiefpaßgefiltert und differenziert wird. Anschließend erfolgt eine Differenzbildung aufeinanderfolgender Minima und Maxima innerhalb eines bestimmten zeitlichen Intervalls. Es ist vorteilhaft, wenn die Differenzwerte über ein bestimmtes zeitliches Intervall abgespeichert werden und die Detektion eines neuen Ripples nur in dem Intervall anhand dieser Differenzwerte vorgenommen wird. Vorteilhafterweise wird die Intervalllänge anhand der Lage der vorhergehenden Ripple adaptiv angepaßt. Hierzu wird die Länge eines Intervalls bevorzugt durch Multiplikation des zeitlichen Abstands der beiden zuletzt erkannten Ripple mit einer Konstanten berechnet.

Das Bestimmen eines Ripples kann durch Suchen des Maximums der Differenzwerte in dem bestimmten Intervall erfolgen. Besonders vorteilhaft ist es jedoch, ein Ripple durch Berechnung des Schwerpunkts der Differenzwerte des bestimmten Intervalls zu detektieren. Damit ist es möglich, die Lage der die Drehzahl des Elektromotors kennzeichnenden Ripple trotz überlagerter Störungen zuverlässig und mit geringem Aufwand zu detektieren.

Es ist vorteilhaft, die Differenzwerte eines Intervalls zu gewichten, indem sie z. B. mit einer Koeffizientenfunktion multipliziert werden. Damit kann die wahrscheinlichste Lage des Ripples stärker gewichtet werden und der Einfluß von Störungen vermindert werden.

Die Koeffizientenfunktion kann vorteilhafterweise eine Dreiecksfunktion oder eine Trapezfunktion sein. Es ist aber besonders vorteilhaft, wenn die Koeffizientenfunktion eine Normalverteilungskurve ist. Der maximale Wert der Koeffizientenfunktion sollte kleiner oder gleich eins sein.

Das Verfahren wird vorteilhafterweise mit digitalen Signalverarbeitungsmitteln durchgeführt. Hierzu sollte eine Analog-Digital-Wandlung des Motorstroms erfolgen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: Blockschaltbild der Signalverarbeitung zur Ripple-Detektion;

Fig. 2: Prinzipieller zeitlicher Verlauf des Stromes für permanent erregte Gleichstrommotoren;

Fig. 3: Ausgangssignale der differenzierten Motorstromwerte;

Fig. 4: Bufferinhalte für eine Konstante a kleiner 1;

Fig. 5: Bufferinhalte für eine Konstante a größer 1;

Fig. 6: Maximumsucher zur Ripple-Detektion;

Fig. 7: Schwerpunktberechnung zur Ripple-Detektion;

Fig. 8: Geeignete Koeffizienten für die komponentenweise Multiplikation des Bufferinhaltes zur Unterdrückung von Störgrößen;

Fig. 9: Schematisches Flußdiagramm des Verfahrens zur Ripple-Detektion.

Das Motorstromsignal weist einen Gleichanteil und einen überlagerten Wechselanteil auf. Der Wechselanteil wird Stromripple genannt. Dieser Anteil entsteht bei einer Rotation des Motors durch den Kommutierungsvorgang an den Ankerwicklungen. Die Ripple-Frequenz ist direkt proportional zur Drehzahl des Motors, wie aus der Fig. 2 ersichtlich ist. Einer Motorumdrehung entsprechen in diesem Beispiel 12 Strom-Ripple.

In der Fig. 1 sind die einzelnen Signalverarbeitungsblöcke zur Ripple-Detektion dargestellt. Das Motorstromsignal wird analog aufbereitet und einem A/D-Umsetzer zugeführt. Daran anschließend wird eine Tiefpaßfilterung zur Beseitigung von hochfrequenten Störungen durchgeführt. Die restlichen Blöcke werden im folgenden ausführlicher beschrieben.

In der Fig. 2 sind deutlich die steilen negativen Flanken der Stromripple zu erkennen. Aus diesem Grund wird das Motorstromsignal nach der Tiefpaßfilterung differenziert. Das obere Diagramm in der Fig. 3 zeigt das entsprechende Ausgangssignal. Können die Filterkoeffizienten so gewählt werden, daß die niederfrequenten Anteile hinreichend gedämpft werden, ist es vorteilhaft die positiven Anteile des Ausgangssignales zu Null zu setzen. Eine hinreichende Dämpfung ist dann gegeben, wenn die Maxima alle näherungsweise auf einer waagerechten Linie liegen. Dies ist im mittleren Diagramm der Fig. 3 gezeigt. Die anschließende Minima-Maxima Differenzbildung, die in dem unteren Diagramm in der Fig. 3 skizziert ist, reduziert sich somit auf eine Minima-Detektion.

Es ist ein Zwischenspeicher vorgesehen, der im folgenden Buffer genannt wird. Die nach den vorgehenden Verfahrensschritten ermittelten Werte werden in den Buffer geschrieben, dessen Größe fortlaufend an den Abstand der beiden letzten detektierten Ripple angepaßt wird. Die Buffergröße berechnet sich aus dem Produkt aus einer Konstante A und dem Abstand der beiden letzten Ripple.

Den Vorgang der Berechnung der Buffergröße verdeutlichen die folgenden Fig. 4 und 5, in der vier aufeinander folgende Ripple durch Pfeile schematisch dargestellt sind. Der Motor befindet sich hierbei im Gleichlauf, so daß die Rippelfrequenz bzw. der Abstand Δt_R zwischen den einzelnen Rippen konstant ist. Die grau unterlegten Balken symbolisieren den Werte-Buffer mit den entsprechenden Inhalten.

In dem in der Fig. 4 gezeigten Beispiel ist eine Konstante $A = 0,8$ gewählt. Zum Zeitpunkt t_1 bzw. t_2 wird jeweils ein Ripple detektiert. Das Erkennen eines Ripples erfolgt erst, nachdem der Werte-Buffer vollständig gefüllt ist, beispielsweise zum Zeitpunkt t_3 . In dem in der Fig. 4 gezeigten Beispiel wird also zum Zeitpunkt t_3 ein Abstand zweier Rippel Δt_R von 10 Abtastintervallen bestimmt. Entsprechend der gewählten Konstanten $A = 0,8$ wird ein neuer Buffer mit einem $\Delta t_B = 8$ definiert. Zu beachten ist hierbei, daß der Buffer Speicherplatz für 9 Werte bereitstellen muß. Der Start für das Abspeichern von neuen Werten ist der Zeitpunkt t_4 . Dieser ermittelt sich unter der Annahme, daß die Rippelfrequenz konstant bleibt und der Buffer einen symmetrischen zeitlichen Bereich vor bzw. hinter dem nächsten zu erwartendem Ripple abdeckt ($\pm \Delta t_B/2$).

$$t_4 = (t_2 + \Delta t_R) - \frac{1}{2} \cdot \Delta t_B$$

Zum Zeitpunkt t_3 ist der Speicher voll und es erfolgt der Auswertalgorithmus zur Bestimmung des Zeitpunktes innerhalb des zurückliegenden Zeitintervalls Δt_B , an dem ein Motorstrom-Ripple aufgetreten ist.

Ist die gewählte Konstante $A \geq 1$ so überschneiden sich die zeitlichen Intervalle der jeweiligen Bufferinhalte, wie in der Fig. 5 dargestellt ist. Da hierbei der Startzeitpunkt zum Beschreiben eines neuen Buffers vor dem Zeitpunkt liegt, an dem die neue Buffergröße überhaupt erst berechnet wird, siehe Zeitpunkt t_3 in der Fig. 5, muß für eine entsprechende Initialisierung des Bufferinhaltes gesorgt werden.

Bei sehr starken Schwankungen der Motordrehzahl, d. h. bei einer starken Änderung der aufeinander folgenden Rippleabstände, muß die Konstante A hinreichend groß gewählt werden, um den jeweils nächsten Ripple sicher erfassen zu können. Dies gilt insbesondere für den Anlaufbereich des Motors.

Als Auswertalgorithmen zur Bestimmung des Zeitpunktes, an dem ein Ripple erkannt wird, bieten sich zum einen eine in der Fig. 6 dargestellte Maximumsuche an. Zum anderen kann der Ripple-Zeitpunkt durch Berechnung des Schwerpunktes des gesamten Bufferinhaltes ermittelt werden, wie in der Fig. 7 skizziert ist.

Für die Berechnung des Schwerpunktes n_S sind die Eingangswerte x_i als Massen mit den entsprechenden Koordinaten n_i anzusetzen.

$$n_S = \frac{\sum x_i \cdot n_i}{\sum x_i}$$

Zur Unterdrückung von Störungen kann der Bufferinhalt noch vor Durchführung des Auswertalgorithmus komponentenweise mit geeigneten Koeffizienten multipliziert werden. Die Koeffizienten sollten der Wahrscheinlichkeit entsprechen, mit der an der entsprechenden Stelle mit der Detektion eines Ripples gerechnet wird. Es können zum Beispiel die in der Fig. 8 beispielhaft dargestellten symmetrischen Koeffizienten-Funktionen vorteilhaft verwendet werden.

Der erste auftretende Ripple bei einem Anlaufen des Motors kann mit dem oben beschriebenen Verfahren nicht erkannt werden. Eine Möglichkeit für das Erkennen eines ersten Ripples besteht in einer Schwellwertabfrage der Ausgangswerte des Min-Max-Differenzbilders.

In Fig. 9 ist das Verfahren zur Ripple-Detektion als Blockschaltbild dargestellt. Zunächst erfolgt eine Initialisierung des Verfahrens mit Startwerten, u. a. der Konstanten A . Nach dem Einlesen von digitalisierten Motorstromwerten werden diese einer Tiefpaßfilterung unterzogen, differenziert und es wird eine Minima-Maxima-Detektion durchgeführt. Wenn der erste Ripple einen Schwellwert überschreitet wird erkannt, daß der Motor angelaufen ist. Dann werden die gefilterten, differenzierten und detektierten Motorstromwerte sukzessive in den Buffer geschrieben. Diese Prozedur vom Einlesen der Motorstromwerte bis zum Schreiben der Werte in den Buffer erfolgt so lange, bis der Buffer voll ist. Danach wird der Bufferinhalt optimal komponentenweise mit Erwartungswerten multipliziert und eine Maximum-Suche bzw. eine Schwerpunktberechnung zur Ripple-Detektion durchgeführt. Wenn ein Ripple detektiert werden konnte werden neue Werte für den Ripple-Abstand, die Buffergröße und den Startzeitpunkt für das Schreiben in den Buffer berechnet. Außerdem wird der Buffer initialisiert.

Wenn kein Ripple erkannt wurde, wird ein Zähler für aufeinanderfolgende Intervalle ohne Ripple-Detektion inkrementiert und der Motor gestoppt, wenn der Zähler einen bestimmten Wert N überschreitet. Solange der Zähler noch kleiner als der Wert N ist, wird mit geeigneten Maßnahmen versucht, die nicht erkannten Ripples zu korrigieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Anzahl von Motorumdrehungen bei Elektromotoren aus Stromrippen, wobei der Motorstrom einen Gleichanteil und einen Wechselanteil aufweist, **gekennzeichnet durch** die Schritte von:

- Tiefpaßfiltern des Motorstromsignals;
- Differenzieren des tiefpaßgefilterten Motorstromsignals;
- Berechnen der Differenzwerte zwischen aufeinanderfolgenden Minimal- und Maximalwerten des differenzierten, tiefpaßgefilterten Motorstromsignals;
- Speichern der Differenzwerte innerhalb eines bestimmten zeitlichen Intervalls;
- Ermitteln eines Ripples aus den Differenzwerten des Intervalls;
- Anpassen der Intervalllänge in Abhängigkeit von den vorhergehenden, erkannten Ripples.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge eines nächsten Intervalls durch Multiplikation des zeitlichen Abstands der beiden zuletzt ermittelten Ripples mit einer Konstanten bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Ermitteln eines Ripples durch Suchen des Maximums der Differenzwerte in einem bestimmten Intervall erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Ermitteln eines Ripples durch Berechnung des Schwerpunktes der Differenzwerte eines bestimmten Intervalls erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenzwerte vor der Ermittlung eines Ripples mit einer Koeffizientenfunktion multipliziert werden.

6. Verfahren nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizientenfunktion eine Dreiecksfunktion ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizientenfunktion eine Normalverteilungskurve ist.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten-Funktion eine Trapezfunktion ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der maximale Wert der Koeffizientenfunktion kleiner oder gleich eins ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche gekennzeichnet durch Analog-Digital-Wandlung des Motorstroms und digitale Weiterverarbeitung der Motorstromwerte.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

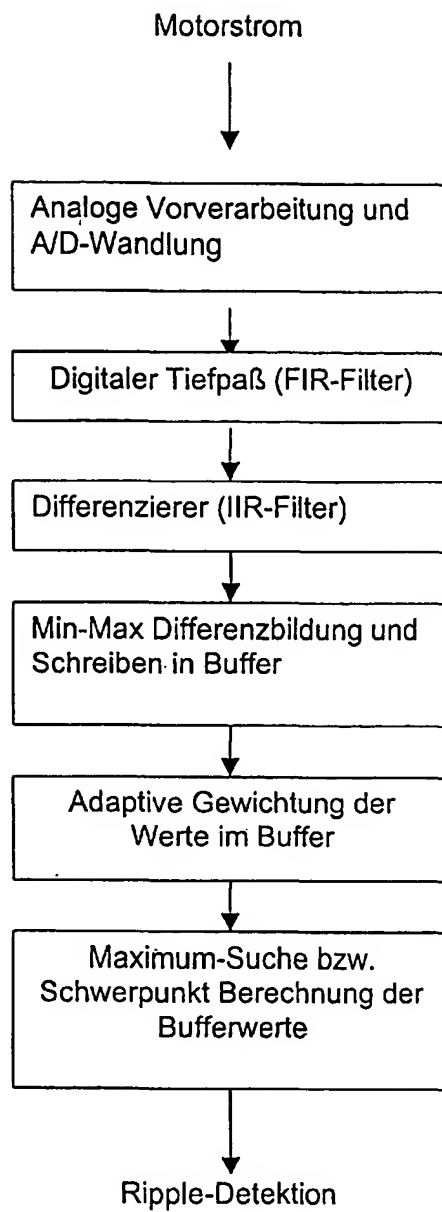


Fig. 1

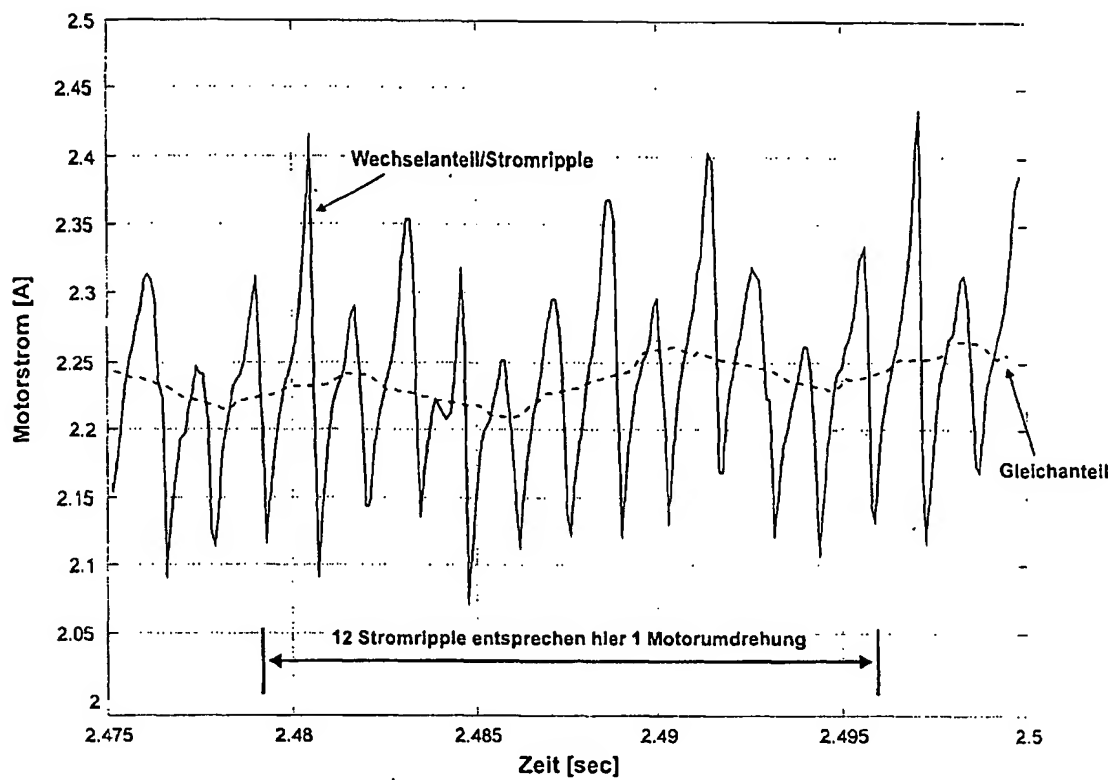


Fig. 2

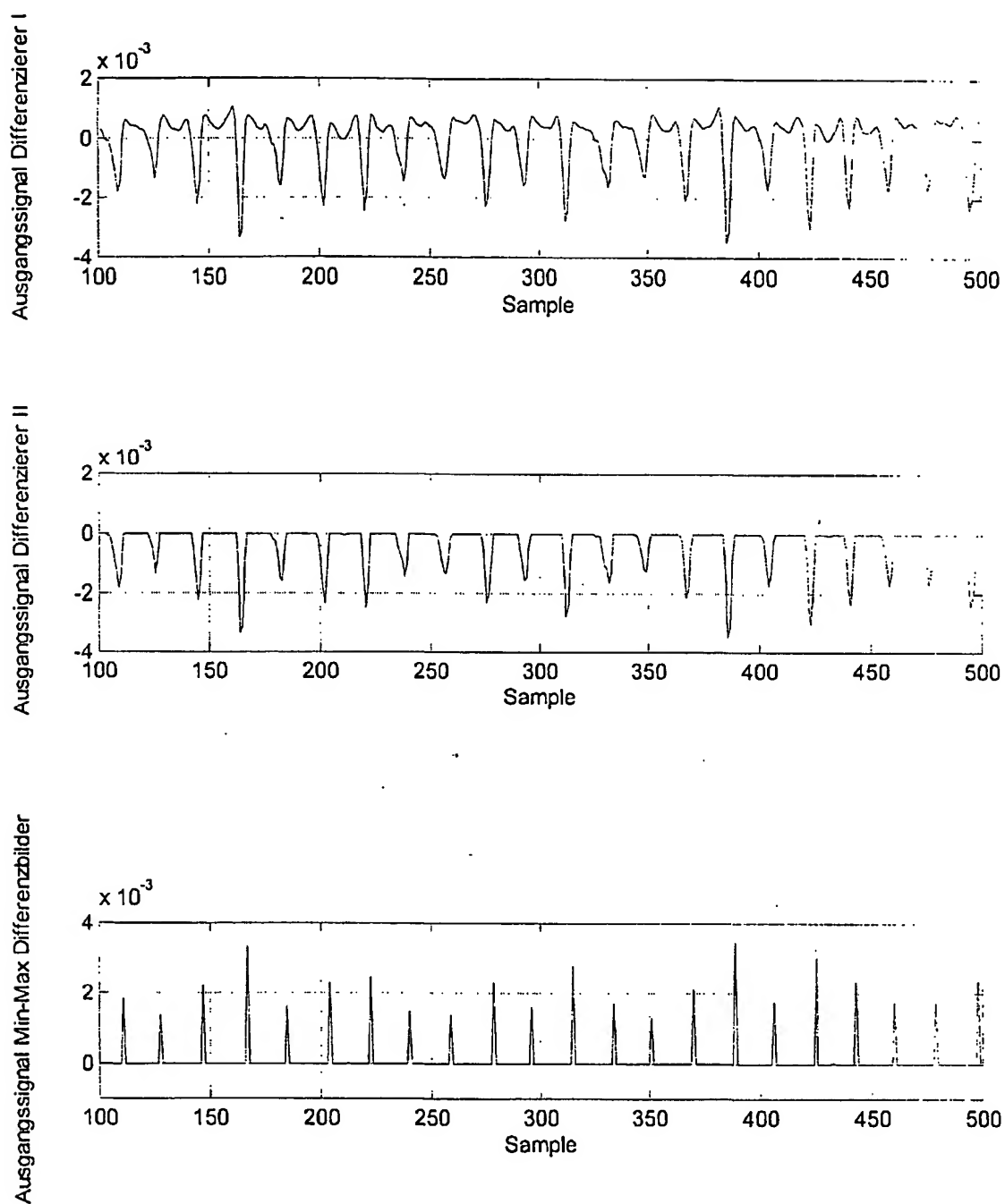


Fig. 3

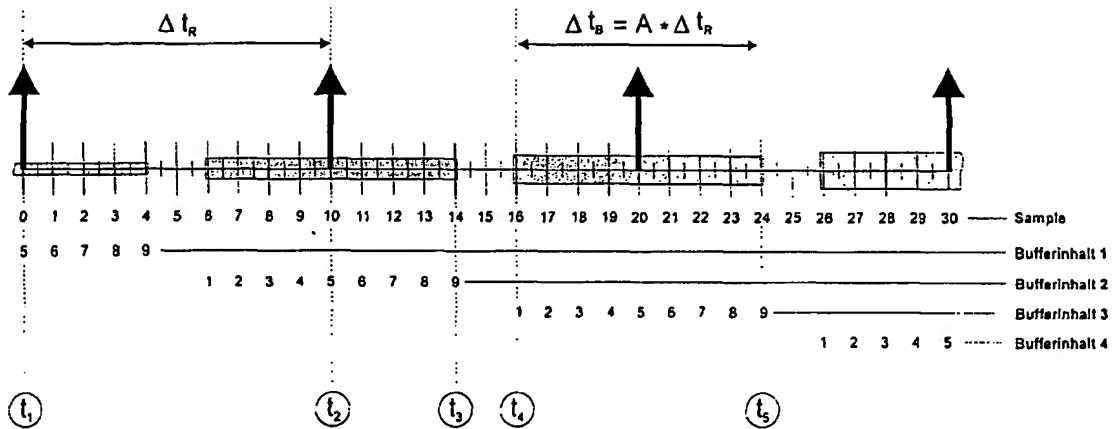


Fig. 4

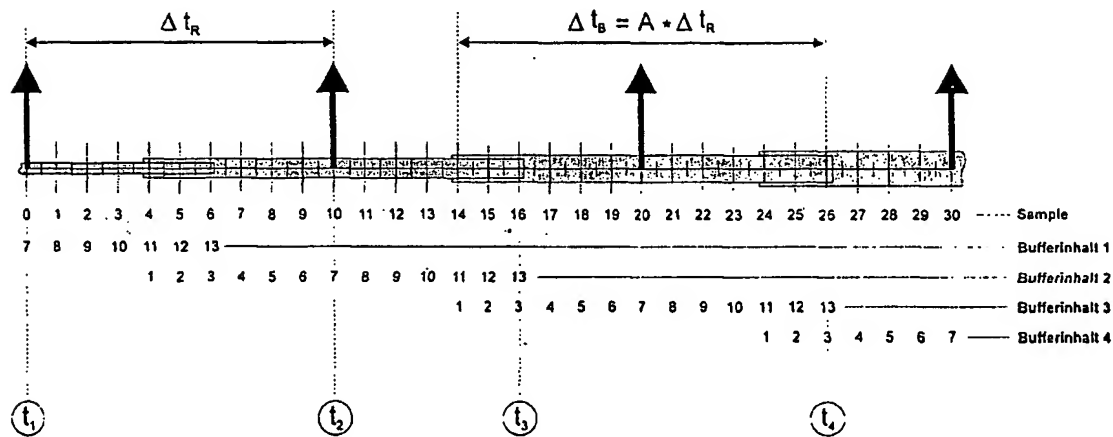


Fig. 5

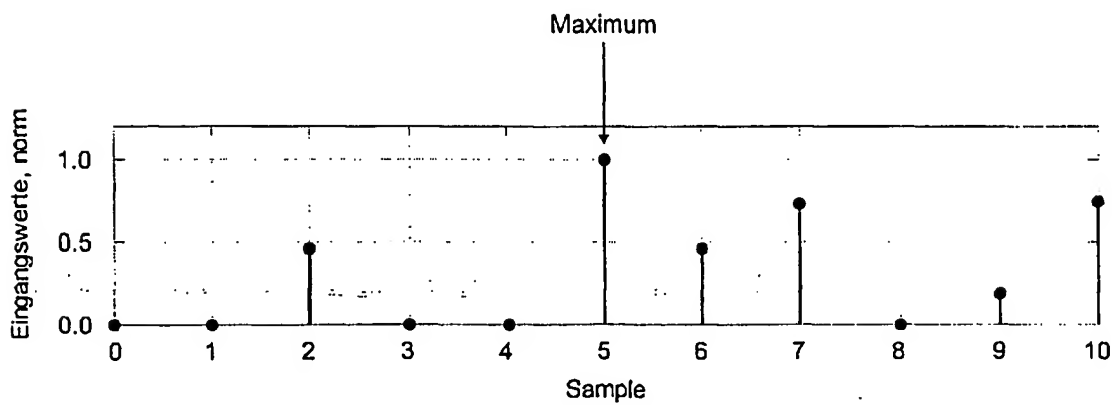


Fig. 6

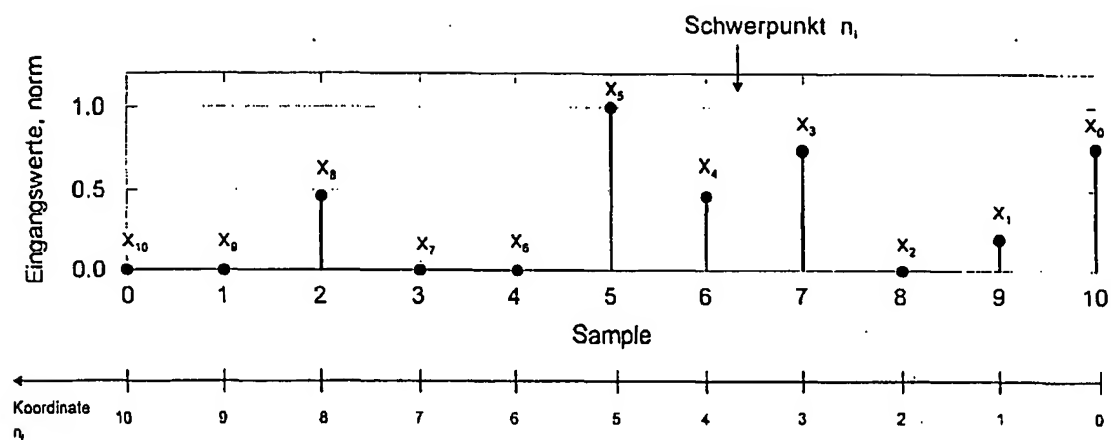


Fig. 7

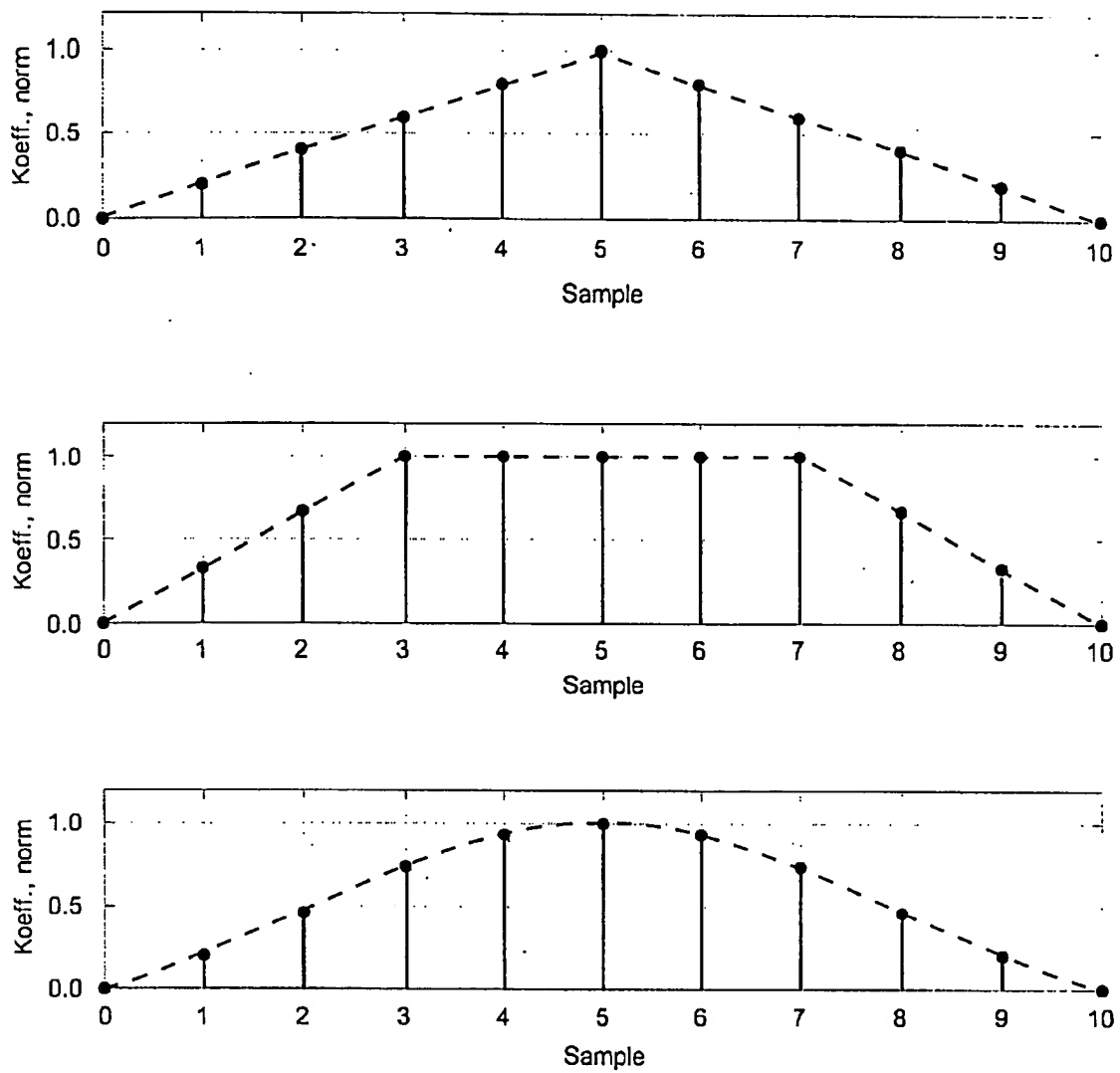


Fig. 8

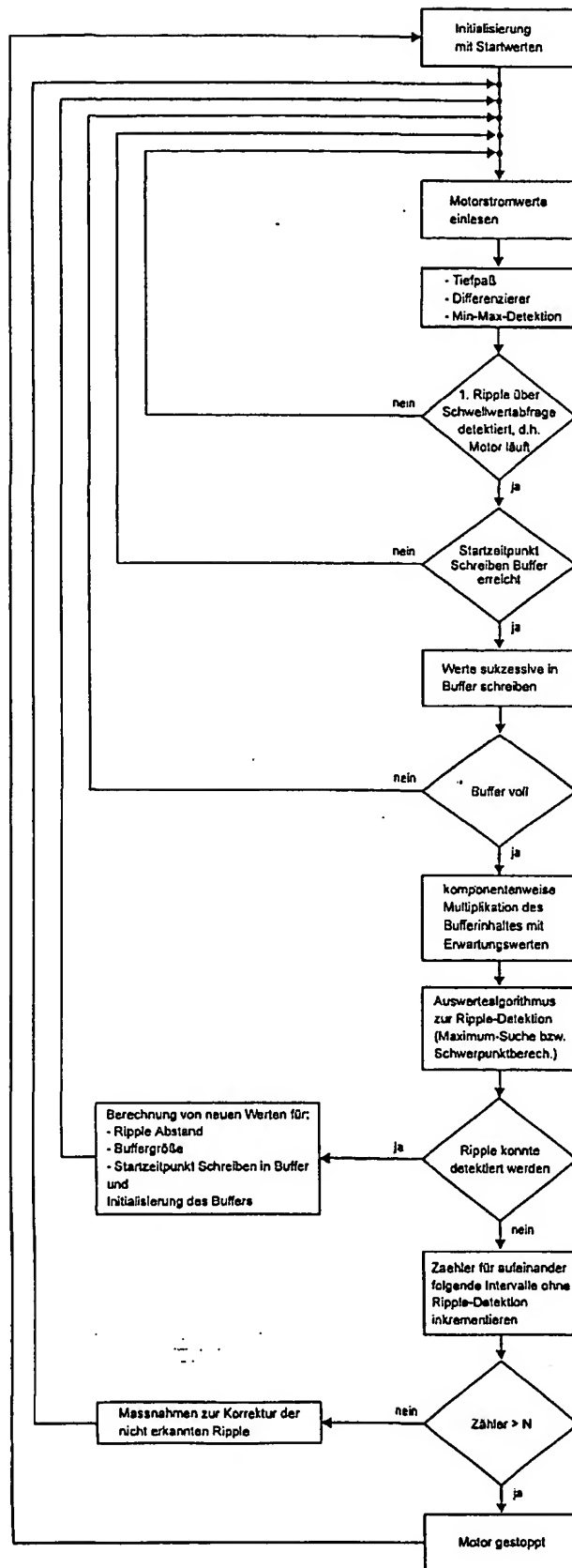


Fig. 9